



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 41 22 076 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**H 02 K 15/06**  
H 02 K 3/12

⑳ Aktenzeichen: P 41 22 076.5  
㉔ Anmeldetag: 4. 7. 91  
㉓ Offenlegungstag: 9. 1. 92

DE 41 22 076 A 1

③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1  
07.07.90 DE 40 21 701.9

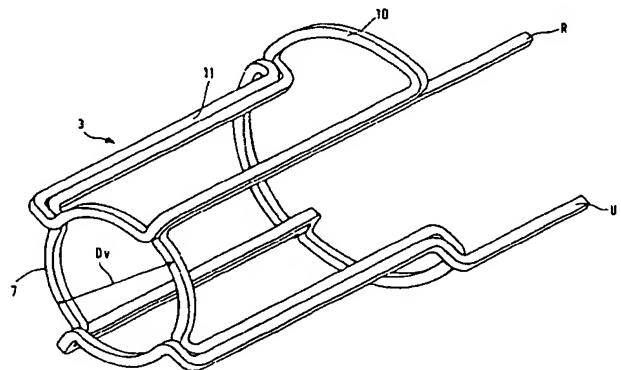
⑦1 Anmelder:  
Zahnradfabrik Friedrichshafen AG, 7990  
Friedrichshafen, DE

⑦2 Erfinder:  
Lang, Armin, 7070 Schwäbisch Gmünd, DE

BEST AVAILABLE COPY

⑤4 Verfahren zur Herstellung einer Statorwicklung mit Profileitern für elektrische Maschinen

⑤7 Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer Statorwicklung für elektrische Maschinen, die vorwiegend im Kraftfahrzeug eingesetzt werden, vorgestellt, das zeigt, wie eine vollständig außerhalb des Statorblechpakets (6) in Wickelsträngen (3, 13, 14, 15) vorgefertigte Wicklung (12) in einem einzigen Arbeitsgang in die Nuten (4) des Statorblechpakets (6) eingeführt werden kann. Ferner wird anhand von Ausführungsbeispielen gezeigt, wie eine erfindungsgemäße Statorwicklung kompakt mit befriedigendem Füllfaktor ausgeführt werden kann.



DE 41 22 076 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung einer Statorwicklung mit Profileitern für elektrische Maschinen, deren Wickelköpfe abgebogen sind und außerhalb der Statorbleche geformt werden, sowie Wickelstrang und Wicklung zur Durchführung des Verfahrens.

Derartige Statorwicklungen können in den verschiedensten Bereichen im Elektromaschinenbau verwendet werden, vor allem aber für sogenannte Drehfeldmotoren im Kraftfahrzeugbau, da gerade hier auf eine platzsparende Bauweise der elektrischen Maschinen mit niederohmigen Wicklungen und hohem Kupferfüllfaktor geachtet werden muß, um einen hohen magnetischen Fluß zu erzielen. Der Füllungsgrad der Statornuten beeinflusst entscheidend den Wirkungsgrad und die Baugröße der elektrischen Maschine.

Wegen der relativ niedrigen Motorspannung, die im allgemeinen kleiner 12 Volt ist, sind die Wicklungen niederohmig auszulegen. Daher wurden in der Vergangenheit mehrere Leiter einer Wicklung parallel geschaltet. Diese Maßnahme stellt einen enormen Fertigungsaufwand dar und ist bei einer Massenproduktion wirtschaftlich nicht tragbar.

Außerdem ergibt sich unter Verwendung runder Drähte der Nachteil eines schlechten Füllfaktors, der das Verhältnis zwischen Leitermaterial und Luft ist proportional dem Strom, der nach Möglichkeit so gewählt werden sollte, daß die magnetische Induktion im Sättigungsbereich des Dynamobleches liegt.

Daher werden große Anstrengungen unternommen, um dieses Ziel wirtschaftlich zu erreichen. Es wurden die verschiedensten Statorwicklungen und Verfahren zu deren Herstellung entwickelt, um den Füllfaktor möglichst optimal zu gestalten. Bei großen elektrischen Maschinen werden seit langem anstelle runder Leiter viereckige Leiter verwendet, die vorgefertigt in die Nuten des Statorbleches eingesetzt werden. Eine Übertragung dieser Leiterquerschnitte auf kleine elektrische Maschinen ist nicht ohne weiteres möglich, denn ein profilierter Leiter ist im allgemeinen schlechter zu bearbeiten als ein runder Leiter, wie beispielsweise beim Biegen des Leiters. Dazu kommen Isolationsprobleme.

In der DE-A1-38 03 752 wird ein Verfahren zur Herstellung eines Stators für einen Kraftfahrzeug-Drehstromgenerator beschrieben, das den Füllfaktor erheblich verbessert, wobei die in die Nuten einzubringenden Leiterteile zunächst rund sind und unter Anwendung von äußerem mechanischen Druck einen viereckigen Querschnitt erhalten. Die Querschnitte der Enden an den Wickelköpfen bleiben dabei rund.

Eine weitere Verbesserung, sowohl der Produktion als auch des Füllfaktors von Statorwicklungen, wurde dadurch erzielt, daß ganze Wicklungspakete mit einer der Nut angepaßten Form vorgefertigt und hernach in die Nuten eingebracht wurden. Ein anschließendes Pressen dieser vorgefertigten Wicklungen birgt allerdings Isolationsproblem in sich und führt zu großen Ausschußraten in der Produktion. Ferner entstehen bei dieser Wickelart verhältnismäßig voluminöse Wickelköpfe, die bei einer Kleinbauweise störend sind.

Die o. g. Verfahren haben darüber hinaus noch den Nachteil, daß nach Einbau der Wicklungen in die Statornuten die Enden der Wicklung verbunden bzw. verlötet werden müssen. Diese Verbindungsstellen stellen nicht nur elektrisch einen Widerstand dar, sie sind zusätzlich auch häufig eine Fehlerquelle, die zu mechanischen Pro-

blemen bei Erwärmung der Wicklungen führt.

Daher liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bereitzustellen, das in der Lage ist, eine vorgefertigte Statorwicklung in die Nuten des Statorblechpakets unter optimaler Ausnutzung des Wickelraumes einzufügen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Formleiter außerhalb des Statorblechpakets zu einer räumlichen Struktur gebogen werden, die den geometrischen Abmessungen des Statorblechpakets angepaßt ist, so daß die einzelnen Formstränge von einer Seite axial in die Nuten des Statorblechpakets eingebracht werden können.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung finden sich in den Unteransprüchen wieder.

Gemäß der vorliegenden Erfindung soll nun die Wicklung einer Phase aus einem Strang eines Leiters bestehen, so daß lediglich Anfang und Ende der Statorwicklung zu verschalten sind, wobei der Anfang eines Stranges die Anschlußklemme an das Netz darstellt. Bei mehrphasigen Wicklungen können die Enden untereinander, beispielsweise im Stern oder im Dreieck, verschaltet werden. Ein Verbinden bzw. Verlöten der einzelnen Wickelpakete entfällt also, was einen unübersehbaren Vorteil sowohl für die Produktion als auch im Hinblick auf die physikalischen Größen, wie Widerstände, Stromdichte und Erwärmungsprozesse, bedeutet.

Durch die spezielle Formgebung der einzelnen Stränge, infolge der Verwendung eines profilierten Stromleiters, ergibt sich ein weiterer für die Produktion erheblicher Vorteil, nämlich der, daß die Formstränge identisch ausgeführt werden können.

Ein weiterer Vorteil dieser Erfindung ist darin zu sehen, daß die Abbiegung der Wickelköpfe in Richtung der Mittelachse des Stators das Einbringen der gesamten Statorwicklung bzw. einzelner Stränge in die Nuten des Statorblechpakets ermöglicht. Hierdurch ergeben sich Vereinfachungen bei der automatischen Herstellung eines solchen Stators. Das bedeutet ferner, daß die Möglichkeit besteht, mit einem einzigen Arbeitsgang die gesamte Statorwicklung in die Nuten des Statorblechpakets einzubringen.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung und deren in den Unteransprüchen gekennzeichneten Weiterbildungen wird auf die Zeichnungen Bezug genommen. Es zeigt

Fig. 1 einen Längsschnitt durch das Statorblechpaket mit einer zweilagigen Wicklung,

Fig. 1A die Ansicht aus Richtung des Pfeiles 1A in Fig. 1,

Fig. 1B die Ansicht aus Richtung des Pfeiles 1B in Fig. 1,

Fig. 2 einen zweilagigen Wickelstrang in perspektivischer Darstellung,

Fig. 3 eine komplette zweilagige 3-Phasen-Wicklung in perspektivischer Darstellung,

Fig. 4A eine Nut im Statorblechpaket mit darin befindlichen Leitern mit dreieckigem Querschnittsprofil,

Fig. 4B eine viereckige Nut im Statorblechpaket mit darin befindlichen Leitern mit dreieckigem und trapezförmigem Querschnittsprofil,

Fig. 4C eine viereckige Nut im Statorblechpaket mit darin befindlichen Leitern mit dreieckigem Querschnitt, zusammengefügt zu einem Quadrat,

Fig. 4D eine schräge Nut mit dazu durch mechanischen Druck angepaßten Leitern,

Fig. 4E eine Schnittdarstellung des Formgebungswerkzeuges.

In Fig. 1 wird ein Schnitt durch die obere Hälfte eines Statorblechpakets mit einer zweilagigen Wicklung gezeigt. In Fig. 1A ist eine Vorderansicht aus der Pfeilrichtung IA und in Fig. 1B eine Vorderansicht aus der Pfeilrichtung IB zu sehen. In dem Schnittbild ist zu erkennen, wie Wickelköpfe 1, 2 eines Wickelstranges 3 an beiden Seiten A und B gebogen sind. Auf der A-Seite ist der Wickelkopf 1 radial nach innen gebogen, um den vollständig vorgefertigten Wickelstrang 3 mit der A-Seite in Nuten 4 zwischen Nutenstegen 5 eines Statorblechpakets 6 einschieben zu können. Das Einschieben des vorgefertigten Wickelstranges ist jedoch nur möglich, wenn der Durchmesser  $D_v$  an den Außenkanten von Verbindungsstegen 7 des Wickelstranges 3 den Innendurchmesser  $D_i$  des Statorblechpakets 6 geringfügig unterscheidet, damit die Außenkanten der Verbindungsstege 7 an den Innenflächen 8 der Nutenstege 5 beim Einbringen vorbeigleiten können. Die Verbindungsstege liegen an dem Wickelkopf 1.

Auf der B-Seite sind die Wickelköpfe 7 radial nach außen gebogen, und zwar so weit, daß die nachfolgenden Wickelstränge innen hindurchgeschoben werden können. Die Abbiegung der Wickelköpfe nach außen ist deshalb notwendig, damit einerseits im Anschluß an die Montage des Wickelstranges der nicht dargestellte Rotor eingeführt werden kann und andererseits die einzelnen Wickelstränge selbst ineinanderschiebbar sind. Verzichtet man auf die Gleichheit der drei Wickelstränge, kann beim letzten Strang das Hochbiegen entfallen, wodurch der Wickelkopf kleinere Ausmaße annehmen kann.

Der Querschnitt der Leiter 9 des Wickelstranges 3 ist im vorliegenden Fall quadratisch. Es sind aber auch andere Querschnittsformen denkbar, wie weiter unten gezeigt wird. Wichtig ist nur, daß der zur Verfügung stehende Wickelraum optimal genutzt wird, um eine hohe Stromdichte zu erzielen.

Fig. 2 zeigt einen zweilagigen Wickelstrang 3 in perspektivischer Darstellung mit seinen Anschlußenden R und U. Auch hier wurde aus Gründen der einfacheren Darstellung ein quadratischer Querschnitt des Leiters gewählt. Die Verbindungsstege 7 auf der A-Seite sind in diesem Falle kreisbogenförmig gebogen. Welche Art der Krümmung die Verbindungsstege letztlich annehmen, hängt im wesentlichen von der Größe der elektrischen Maschine bzw. vom Innendurchmesser  $D_i$  des Statorblechpakets 6 ab. Die Wickelköpfe 1 sind rechtwinklig in Richtung der Mittelachse des Statorblechpakets abgebogen, und zwar derart, daß bei mehrlagigen Wickelsträngen eine Grundform erstellt wird, an die die darüberliegende Lage eng angepaßt wird, damit auch der äußere Wickelraum eine dichte Packung erfährt.

In der gleichen Weise wird auf der gegenüberliegenden, der B-Seite verfahren, nur werden hier aus genannten Gründen die Wickelköpfe nach außen gebogen. Die Anschlußenden R und U des Wickelstranges 3 werden so herausgeführt, daß sie zur weiteren Verschaltung zur Verfügung stehen. Kreisbogenförmige Verbindungsstege 10 am Wickelkopf 2 verbinden die parallel zur Mittelachse des Statorblechpakets liegenden Mittelteile 11 des Wickelstrangs 3.

Der Durchmesser  $D_a$  an den Außenkanten der Mittelteile 11 in den Nuten 4 ist nur geringfügig kleiner als der Durchmesser  $D_N$  am tiefsten Punkt der Nut.

Die so vorgefertigte Wicklung 3 wird dann mit der A-Seite in die Nuten 4 des Statorblechpakets 6 eingeführt.

Die in der obigen Weise hergestellte Wicklung läßt

sich für zwei- oder mehrphasige Maschinen anwenden. In Fig. 3 ist eine 3-Phasen-Wicklung dargestellt. Der erste Wickelstrang wird je nach Bedarf mit bekannten Biege- und Formgebungsmethoden hergestellt. Die Form der nachfolgenden Wickelstränge wird dann dieser ersten Form angepaßt, wobei sich als besonders vorteilhaft die identische Formgebung der Wickelstränge erweist. Somit kann eine kompakte Wicklung 12, die aus drei Wickelsträngen 13, 14, 15 besteht, auch für dreiphasige Wicklungen vorgefertigt werden, die in einem einzigen Arbeitsgang in oben beschriebener Weise in das Statorblechpaket 6 eingebracht wird. die Anschlüsse R, S, T, U, V, W dienen dem Anschluß an das Drehstromnetz. Sie werden entweder im Stern oder im Dreieck geschaltet.

In Fig. 2 und 3 sind die Wickelstränge 3, 13, 14, 15 mit je vier Mittelteilen 11 dargestellt. Dies würde bei einer 3-Phasen-Wicklung einem Statorblechpaket mit 12 Nuten entsprechen. Bei der Ausführung nach Fig. 1 weist jeder Wickelstrang zwölf Mittelteile 11 auf.

Die Erfindung ist nicht auf Leiter mit viereckigem oder rundem Querschnittsprofil beschränkt. Sie kann ebenso mit anderen Querschnittsprofilen ausgeführt werden. Wesentlich ist, daß die Leiterpackung möglichst dicht ist und den vorhandenen Wickelraum optimal ausnutzt. Dies läßt sich vernünftig wirtschaftlich mit einer Vielzahl von Leiterprofilen realisieren.

In Fig. 4A ist beispielsweise eine Nut 16 im Statorblechpaket 6 dargestellt, in der sich drei Leiter 18 mit dreieckigem Querschnittsprofil befinden und so zusammengesetzt sind, daß sie eine dichte trapezförmige Packung ergeben. Die Nut selbst hat ebenfalls trapezförmigen Querschnitt.

Eine andere Kombination von verschiedenen Querschnittsprofilen mit dichtester Packung ist in Fig. 4B dargestellt. Hier haben die beiden seitlichen Leiter 19 trapezförmige und der äußere und innere Leiter 20 dreieckige Querschnittsform. Die Nut selbst ist rechteckig. In Fig. 4C ist ebenfalls eine rechteckige Nut dargestellt mit einem aus vier dreieckigen Leitern 21 quadratisch zusammengesetzten Gesamtquerschnitt.

In Fig. 4D und 4E wird eine weitere Variante der Kombinationsmöglichkeiten gezeigt. Zwei anfänglich runde Leiter 22 werden durch äußeren mechanischen Druck P in einem Preßwerkzeug 23 in eine gewünschte äußere Form 24 gepreßt. Dieser Preßvorgang kann während oder nach dem Biegevorgang entsprechend der Nut 25 vorgenommen werden. Sowohl die Wickelköpfe 1, 2 als auch die Verbindungsstege 7, 10 bleiben von diesem Verformungsvorgang unberührt und behalten somit ihre ursprüngliche Form.

Gemäß dem oben beschriebenen Verfahren läßt sich mit der Erfindung ein Stator für eine elektrische Maschine erstellen, der einerseits sehr kompakt gebaut werden kann und andererseits die Produktion erheblich vereinfacht. Obwohl in den angeführten Ausführungsbeispielen der Bau einer elektrischen Maschine für den Gebrauch in einem Kraftfahrzeug vorwiegend betrachtet wurde, läßt sich die Erfindung selbstverständlich auch allgemein auf den Bau elektrischer Maschinen anwenden.

#### Bezugszeichen

- 1 Wickelkopf
- 2 Wickelkopf
- 3 Wickelstrang
- 4 Nut

5	Nutensteg	
6	Statorblechpaket	
7	Verbindungssteg	
8	Innenfläche	
9	Leiter	5
10	Verbindungssteg	
11	Mittelteil	
12	Wicklung	
13	Wickelstrang	
14	Wickelstrang	10
15	Wickelstrang	
16	Nut	
17	—	
18	Leiter	
19	Leiter	15
20	Leiter	
21	Leiter	
22	Leiter	
23	Preßwerkzeug	
24	Äußere Form	20
25	Nut	
R	Anschluß	
S	Anschluß	
T	Anschluß	
U	Anschluß	25
V	Anschluß	
W	Anschluß	

# Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung und zum Einbau einer Statorwicklung mit Formleitern, die in das entsprechende Profil von Nuten (4) eines Statorblechpakets (6) eingeschoben wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Formleiter als Wickelstränge (3, 13, 14, 15) außerhalb des Statorblechpakets (6) angepaßt sind, so daß die einzelnen Wickelstränge (3, 13, 14, 15) von einer Seite axial in die Nuten (3) des Statorblechpakets (6) eingebracht werden können. 35
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wickelstränge (3, 13, 14, 15) außerhalb des Statorblechpakets (6) zusammengefügt und in ihrer Gesamtheit in das Statorblechpaket (6) eingeschoben werden. 40
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Wickelstränge (3, 13, 14, 15) aus blankem Material gefertigt werden und vor dem Einbringen in den Kern mit einer Isolierschicht versehen werden. 45
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wicklung wenigstens einlagig hergestellt wird. 50
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Wickelkopf (1) der einen Seite (A) radial nach innen, während der Wickelkopf (2) der anderen Seite (B) radial nach außen gebogen ist. 55
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge der nach innen gebogenen Wickelköpfe (1) mindestens so bemessen ist, daß sie nicht die Innenflächen (8) der Nutenstege (5) des Statorblechpakets (6) beim Einschieben berühren. 60
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge der nach außen abgebogenen Wickelköpfe (2) nicht über den Außenumfang des Statorblechpakets (6) hinausgeht. 65
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Anschlußenden (R, U) eines Wickelstranges (3) an der gleichen Seite des Stator-

blechpakets (6) befinden.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich bei dreiphasigen Wicklungen (12) die Anschlußenden (R, S, T, U, V, W) der Wickelstränge (13, 14, 15) an der gleichen Seite des Statorblechpakets (6) befinden.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Lagen der Wickelstränge (13, 14, 15) so übereinandergelegt werden, daß die umgebogenen Wickelköpfe (1, 2) der einzelnen Lagen sich gegenseitig berühren, so daß eine dichteste Packung entsteht.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Querschnittsprofil der Leiter (9, 18, 19, 20, 21) viereckig, quadratisch, dreieckig, trapezförmig oder eine Mischung dieser Querschnitte ist.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Leiter (22) mit Hilfe eines Preßwerkzeuges (23) über die Länge der Nuten (4) des Statorblechpakets (6) in ein vorbestimmtes Profil gepreßt wird, wobei die Wickelköpfe (1, 2) und Verbindungsstege (7) ihr ursprüngliches Querschnittsprofil beibehalten.

13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnittsform der Nuten (4) in dem Statorblechpaket (6) so gewählt wird, daß sich im Zusammenhang mit den verwendeten Leitern eine dichteste Packung ergibt, wie beispielsweise eine viereckige, dreieckige oder trapezförmige Nutenform.

14. Wickelstrang (3) zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Leiter (9) aus einem Stück derart gebogen ist,

— daß mehrere Mittelteile (11) parallel zueinander angeordnet sind;

— daß die Enden der Mittelteile (11) durch kreisbogenförmige Verbindungsstege (7, 11) in Wickelköpfen (1, 2) miteinander verbunden sind;

— daß der Wickelkopf (1) an dem einen Ende der Mittelteile (11) radial nach innen gebogen ist;

— daß der Wickelkopf (2) an dem anderen Ende der Mittelteile (11) radial nach außen gebogen ist;

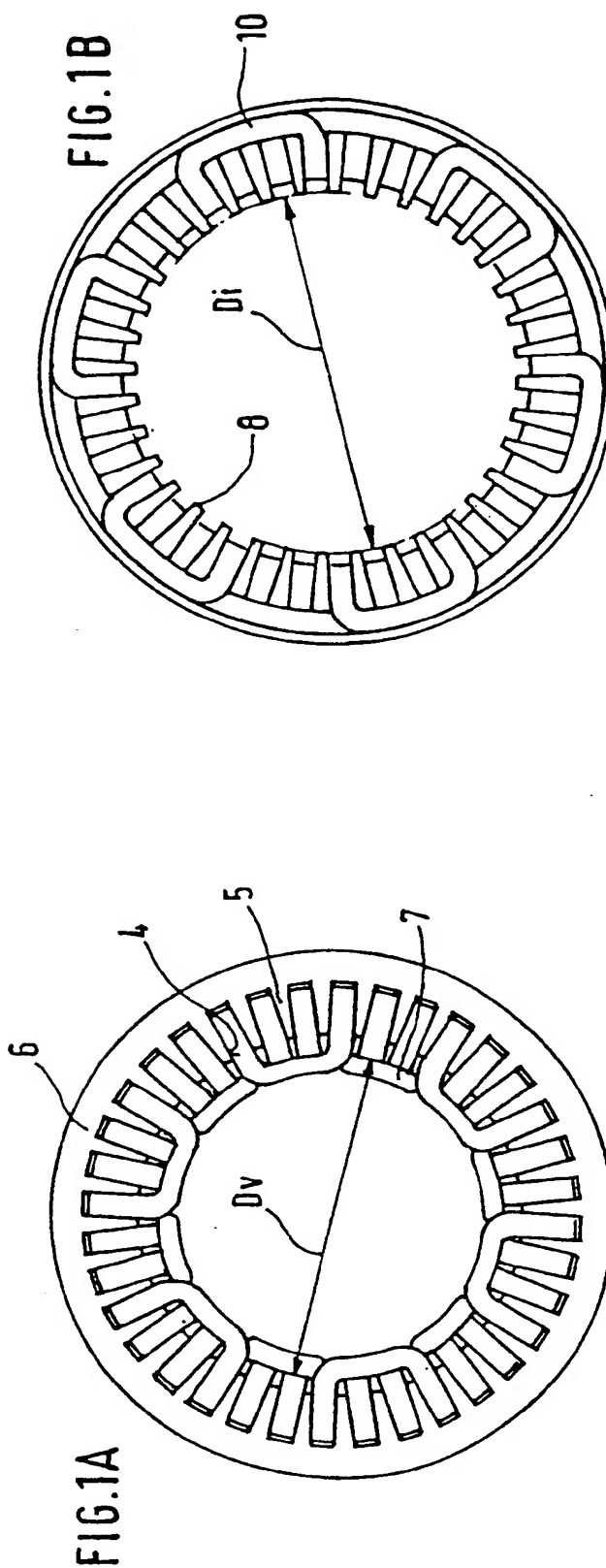
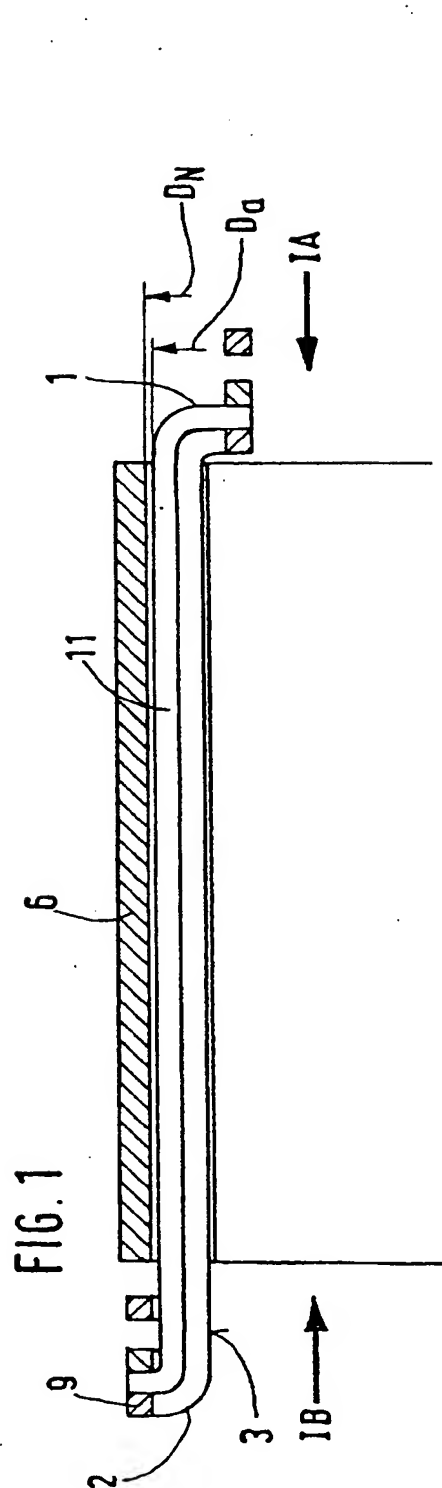
— daß die Verbindungsstege (7) des einen Wickelkopfes (1) zusammen einen geschlossenen Kreis bilden;

— daß ein Verbindungssteg (10) des anderen Wickelkopfes (2) zwischen zwei zueinander benachbarten Mittelteilen (11) ersetzt ist durch je einen, im wesentlichen geradlinigen, in Richtung der beiden Mittelteile (11) verlaufenden Fortsatz zur Bildung je eines Anschlusses (R, U) und

— daß die Mittelteile (11) zweilagig sind.

15. Wicklung (12) zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittelteile (11) der drei Wickelstränge (13, 14, 15) in gleichmäßiger Winkelteilung entsprechend der Teilung der Nuten (4) des Statorblechpakets (6) zueinander angeordnet sind.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen



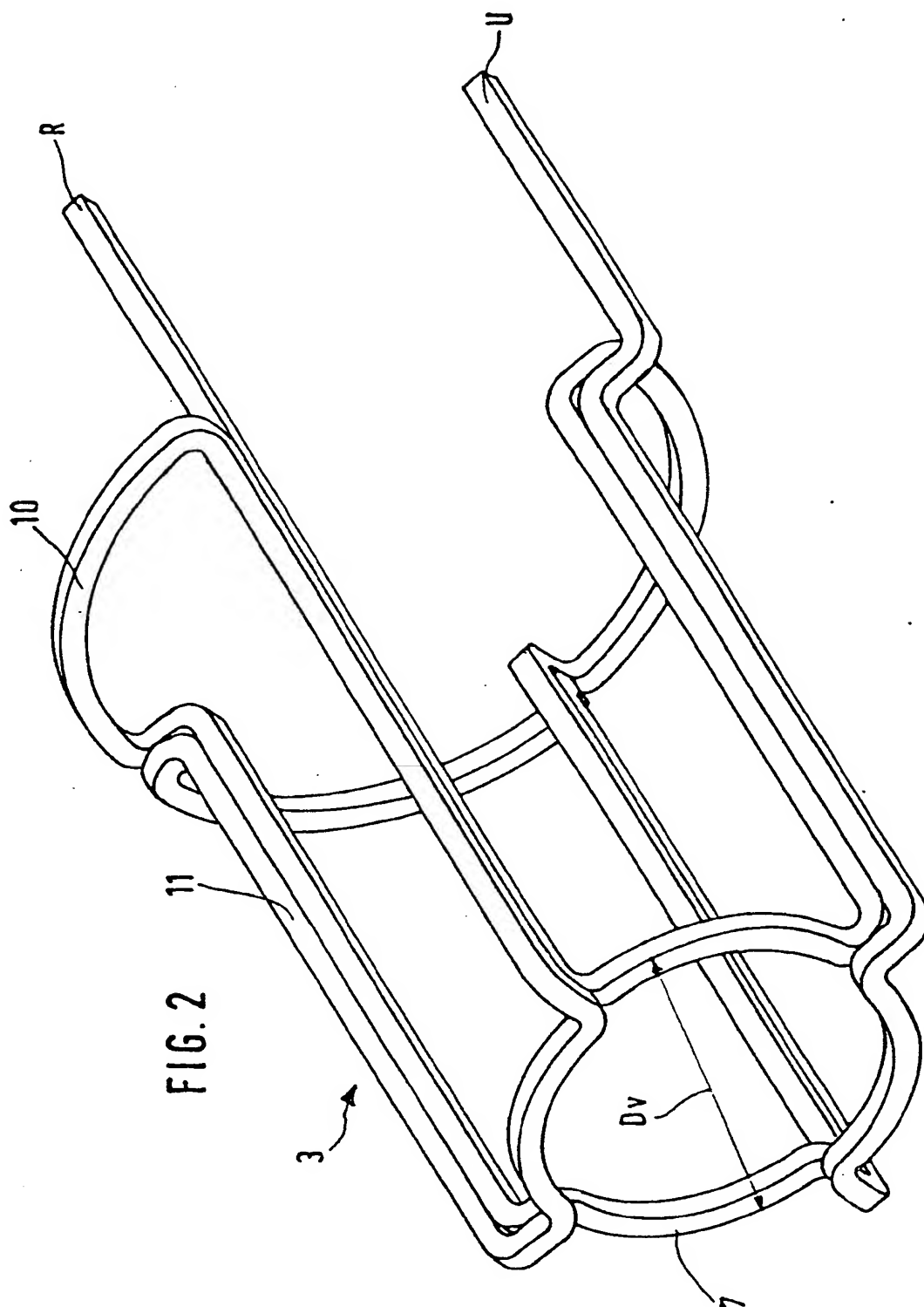
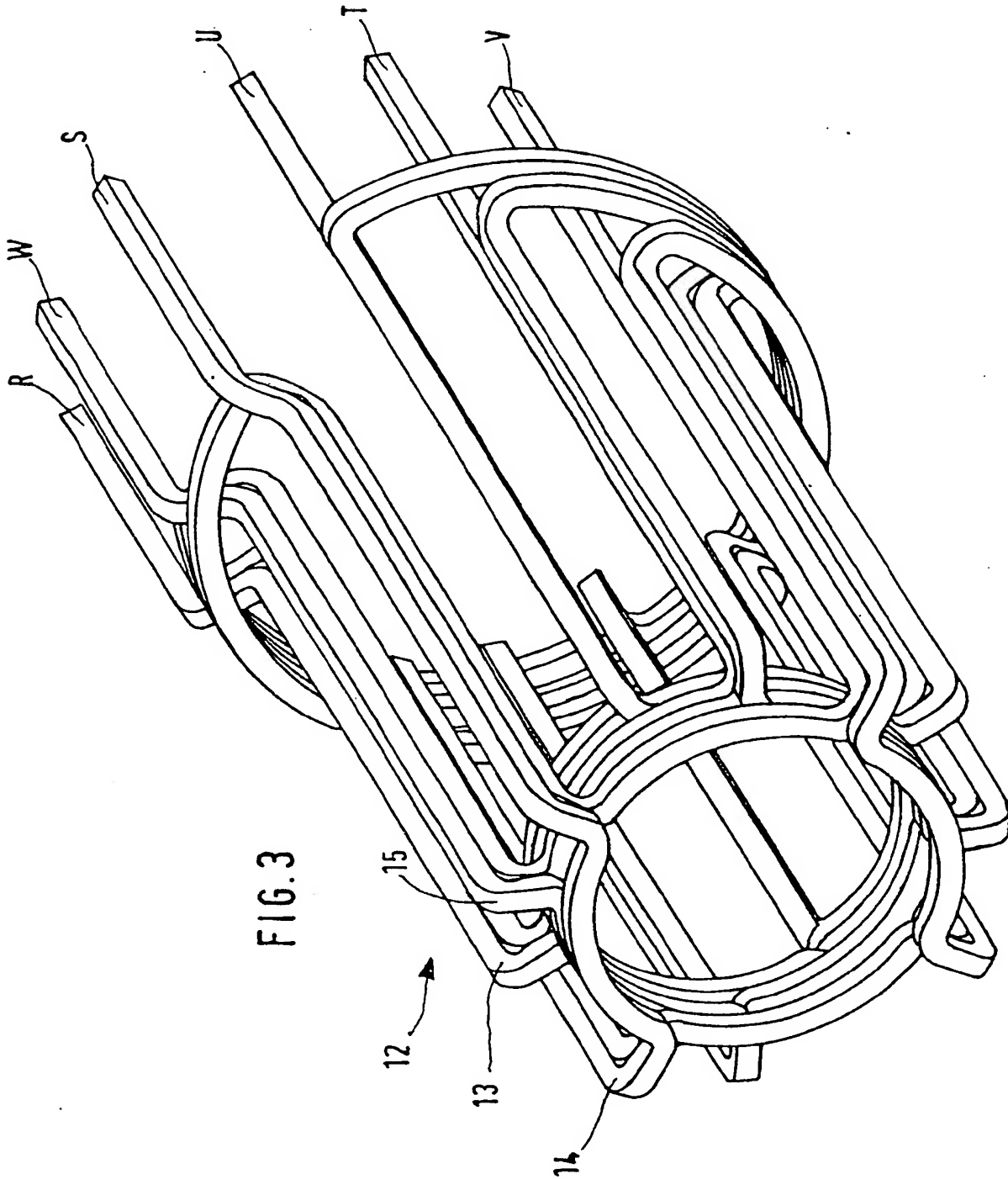
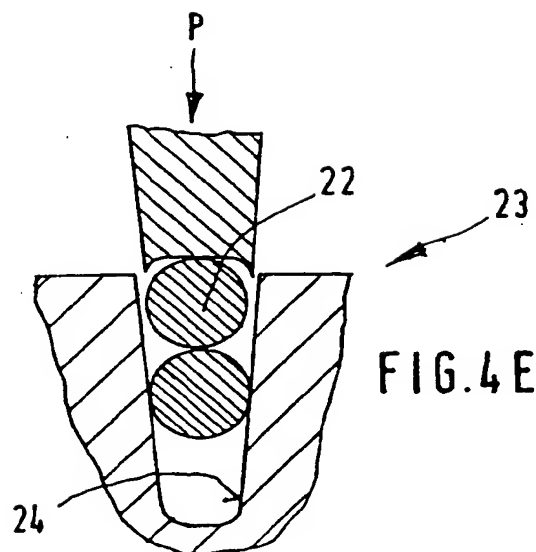
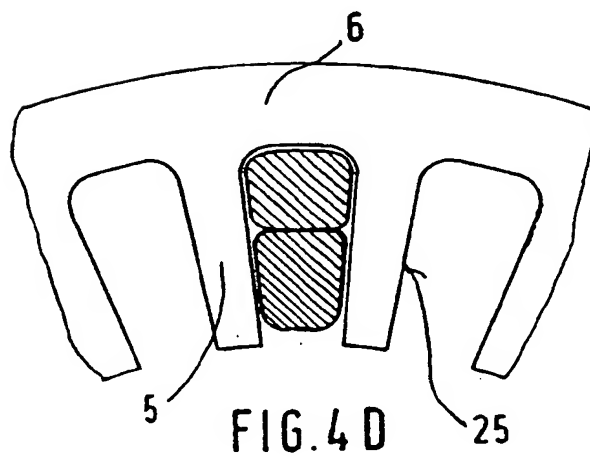
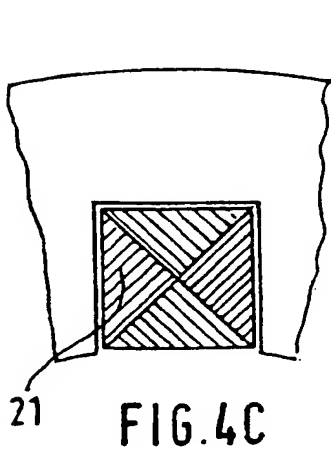
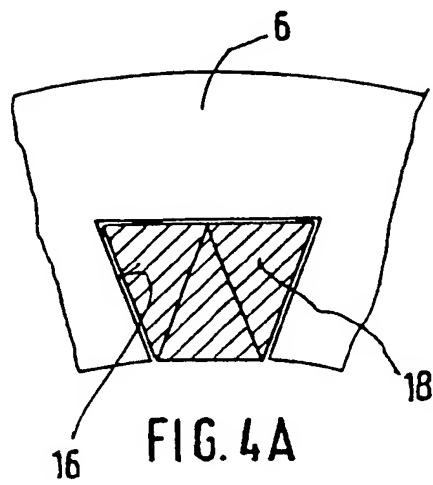
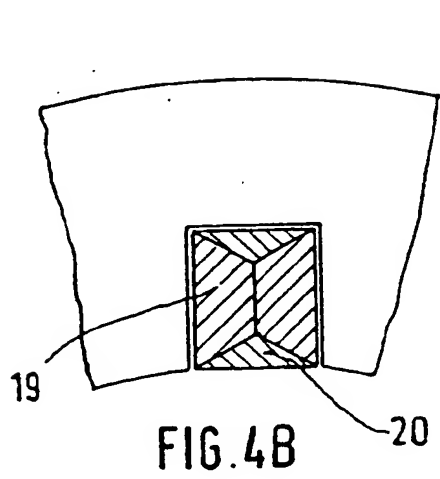


FIG. 2







**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record.**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**